PROLOGO

Existiendo un gran vacío en los textos de Ingeniería Naval, en español, cuya falta se deja sentir principalmente en la enseñanza de esta rama de la Ingeniería, me he decidido a materializar una idea que venía manteniendo desde hace tiempo. Para ello, he aprovechado los apuntes que, durante algún tiempo, han utilizado los alumnos de mi Cátedra, además de la información recopilada durante mi larga experiencia profesional. Con esta intención, me decidí a publicar este libro, como guía general de los interesados en el estudio de la Construcción Naval.

En este libro, se incluyen las teorías tradicionales y modernas sobre el «Cálculo de Estructuras», así como numerosos ejemplos prácticos ejecutados en buques construidos.

Esta obra es útil no sólo a los ingenieros navales, ingenieros técnicos en Ingeniería Naval, inspectores, constructores y delineantes, sino también a todas aquellas personas interesadas en la construcción de buques.

Madrid, agosto 1969.

CAPITULO 1.º

1. MATERIALES EMPLEADOS EN CONSTRUCCION NAVAL

Párrafo		*Página*
1.01.	Generalidades	17
1.02.	Materiales empleados en la Construcción Naval	18
1.03.	Esfuerzos utilizados en Construcción Naval	18
1.04.	Resistencia y rigidez	27
1.05.	Características de los materiales empleados en la Construcción Naval	27
1.06.	Módulo de elasticidad	29
1.07.	Módulo de elasticidad transversal	29
1.08.	Coeficiente de Poisson	29
1.09.	Esfuerzos y planos principales	29
1.10.	Caso I.—Esfuerzo normal acompañado de un esfuerzo cortante	30
1.11.	Caso II.—Dos esfuerzos normales y un esfuerzo cortante	31
1.12.	Cuadros de momentos de flexión, reacciones y flechas	33
1.13.	Momentos de flexión de vigas continuas	32
1.14.	Momentos de inercia y resistencia	41
1.15.	Momentos de inercia de vigas compuestas	41
	Ejemplo I	41
	Ejemplo II	42
	Ejemplo III	43
1.16.	Esfuerzos a que están sometidas las fibras más alejadas de la sección de un buque	46
1.17.	Planchas de cubierta soportadas por longitudinales (esloras), los cuales se apoyan, a su vez, por transversales o baos reforzados	53
1.18.	I.—Fórmulas generales para vigas con carga uniformemente variada	53
1.19.	II.—Fórmulas simplificadas del momento de flexión para su aplicación directa a refuerzos de mamparos	58
1.20.	III.—Viga continua empotrada en los extremos con un apoyo intermedio	60
	Viga cargada uniformemente, empotrada en ambos extremos y apoyada en un punto no equidistante de los extremos	63
	Viga cargada uniformemente, empotrada en ambos extremos y apoyada en dos puntos equidistantes de los extremos	64
1.21.	Cálculo de mamparos	65
1.22.	Tablas para cálculo de puntales huecos	85
1.23.	Características de diversos perfiles utilizados en Construcción Naval	87
1.24.	Módulos de perfiles nacionales con planchas de 610 mm. de ancho y 5, 10, 15 mm. de espesor	102
1.25.	Nomograma para el cálculo del módulo de una sección compuesta	103

CAPITULO 2.º

2. REMACHADO Y JUNTAS REMACHADAS

2.1.	Resistencia de las juntas remachadas	105
	Remachado y cálculo de juntas remachadas	106
2.1.1.	Modos de rotura de las juntas remachadas	106
2.1.2.	Eficiencia de las juntas remachadas	107
2.2.	Remaches	109

Párrafo		*Página*
2.3.	Ejemplos de cálculos de juntas remachadas	109
	Ejemplo I.	109
	Ejemplo II.	110
2.4.	Eficiencia del remachado	111
	Ejemplo I.	111
	Ejemplo II.	112
	Ejemplo III.	117
	Ejemplo IV.	117
	Ejemplo V.	117
	Ejemplo VI.	118
	Ejemplo VII.	118
	Ejemplo VIII.	118
	Ejemplo IX.	118
	Ejemplo X.	119
	Ejemplo XI.	119
2.5.	Influencia del avellanado en las juntas remachadas	120
2.6.	Resistencia de los remaches	121
	Ejemplo XII	121
2.7.	Estudio de estructuras actuales	122
2.8.	Resistencia a la cizalla de los remaches de esloras y refuerzos a las planchas de estructura	126
	Ejemplo I.	127
	Ejemplo II	128
2.9	Esfuerzo a la cizalla del remachado de las costuras del forro exterior	128
	Bibliografía	129

CAPITULO 3.º

3. SOLDADURA EN CONSTRUCCION NAVAL

3.1.	Esfuerzos admisibles en construcciones soldadas eléctricamente	131
3.2.	Cálculo de juntas soldadas	134
3.3.	Cálculo de consolas soldadas. Caso I.: Consolas en T	143
3.4.	Cálculo de consolas soldadas. Caso II: Consolas soldadas de plancha	148
3.5.	Cálculo de consolas soldadas. Caso III: Consolas soldadas a tope	149
3.6.	Cálculo de consolas soldadas. Caso IV: Consolas soldadas a solape	150
3.7.	Método aproximado para calcular la resistencia de consolas soldadas cuando los cordones son simétricos	153

CAPITULO 4.º

4. CALCULO DE PLANCHAS

4.1.	Planchas sometidas a presión hidrostática	155
4.2.	Curvas basadas en las experiencias de Hovgaard	156
4.3.	Curvas generales para el cálculo de planchas	158
4.4.	Resumen de las experiencias sobre planchas sometidas a presión hidrostática	163
4.5.	Flexión cilíndrica de planchas rectangulares de gran longitud	164
	Ejemplo I: Bordes apoyados	165
	Ejemplo II: Bordes empotrados	170
4.6.	Planchas en que la relación de sus lados es menor de 3	171
4.7.	Curvas de Schade, para proyectos de planchas reforzadas sometidas a carga uniforme de flexión	172
	Ejemplo de aplicación I	175
	Ejemplo II	186
	Ejemplo III	187
4.8.	Ancho efectivo de planchas	188
4.8.1.	Curvas del Dr. Vollbrech	188
4.8.2.	Curvas y fórmulas del ingeniero H. A. Schade	190
4.8.3.	Ejemplos I y II	200
4.9.	Teorías modernas sobre planchas sometidas a cargas en su plano	203
4.9.1.	Placas cargadas en dos lados opuestos	203
4.9.2.	Ejemplos I, II y III	205

Párrafo		*Página*
4.9.3	Planchas sujetas elásticamente en los bordes cargados y simplemente apoyados en los descargados	207
4.9.4.	Planchas empotradas en los cuatro bordes	208
4.9.5.	Planchas sometidas a una combinación de presión lateral hidrostática y compresión en los bordes	211

CAPITULO 5.º

5. PUNTALES Y PLANCHAS SOMETIDAS A PANDEO

5.1.	Teoría de Euler	215
5.2.	Teoría de Rankine-Gordon	217
5.3.	Factor de seguridad	218
5.4.	Fórmulas de Moncrieff	219
5.4.1.	Teorías modernas de cálculo de puntales	221
5.4.2.	Columnas de sección transversal no uniforme	226
5.5.	Fórmulas del profesor Lilly	228
5.6.	Puntales sometidos a cargas excéntricas	230
5.6.1.	General	230
5.6.2.	Caso general de flexión debida a la excentricidad de la carga	232
5.6.3.	Caso general, en que el esfuerzo de flexión es nulo	235
5.6.4.	Fórmulas de Moncrieff para cargas excéntricas	241
5.6.5.	Fórmulas de Lilly para cargas excéntricas	242
5.6.6.	Flexión y carga axial combinadas	243
5.6.7.	Proporciones de las columnas y refuerzos para evitar inestabilidad local	243
	Ejemplo: Columna con carga de flexión	249
5.6.8.	Esfuerzo de rotura por compresión en planchas reforzadas	250
5.6.9.	Resistencia al pandeo de los paneles de plancha	250
	Ejemplo I: Panel de plancha con refuerzo sometido a flexión	251
	Ejemplo II: Panel de plancha con refuerzos, sometidos a compresión	252
	Ejemplo III: Apoyo lateral para el ala del refuerzo	252
	Ejemplo IV: Resistencia al pandeo de los paneles de plancha bajo cargas combinadas	253
5.7.	Proporciones entre las dimensiones de la sección de un puntal	266
5.8.	Unión de la cabeza y pie de los puntales	267

CAPITULO 6.º

6. RESISTENCIA LONGITUDINAL

6.01.	Consideraciones sobre el cálculo de resistencia longitudinal de un buque	269
6.02.	Teoría y construcción de la ola trocoidal	270
6.03.	Método general del cálculo de la resistencia longitudinal de un buque	271
6.04.	Cálculo de la resistencia longitudinal de un crucero explorador de 4.200 t.	274
6.05.	Cálculo de la resistencia longitudinal por el método americano	295
6.05.01.	Escalas a utilizar	295
6.05.02.	Tabulación de la distribución longitudinal de pesos	299
6.05.03.	Trazado de la ola	299
6.05.04.	Posición de equilibrio del barco sobre la ola	299
6.05.05.	Tabulación de las fuerzas del empuje	299
6.05.06.	Determinación de la curva de cargas	299
6.05.07.	Determinación de la curva de esfuerzo cortante	313
6.05.08.	Cálculo de los momentos de flexión	313
6.05.09.	Cálculo de los momentos de inercia de las secciones	313
6.05.10.	Cálculo de los esfuerzos de flexión	313
6.05.11.	Cálculo de esfuerzos unitarios por esfuerzo cortante	331
6.05.12.	Cálculo de las flechas	332
6.06.	Cuadro comparativo de momentos de flexión y coeficientes de trabajo de varios buques de guerra	334
6.07.	Módulo de inercia de la sección maestra	336
6.08.	Efectos de superestructuras continuas en la inercia y esfuerzo de la sección de un buque	339
6.09.	Cálculo de los escantillones longitudinales de la sección maestra de un buque	342

Párrafo		*Página*
6.10.	Modificaciones de los escantillones de la sección maestra para obtener unos coeficientes de trabajo determinados	349
6.11.	Esfuerzos producidos en la estructura de un buque escorado	353
6.12.	Posición del barco en la ola	354
6.13.	Efectos de oscilación vertical en las olas	355
6.14.	Efectos de cabeceo	359
6.15.	Efecto combinado de las correcciones de Smith, oscilación vertical y cabeceo	361
6.16.	Esfuerzos debido a la temperatura	363
6.17.	Esfuerzos admisibles	363
6.18.	Utilización de acero de alta resistencia	367
6.19.	Esfuerzos en ciudadelas cortas y largas	370
6.20.	Esfuerzos en una superestructura ligera	371
6.21.	Empleo de materiales ligeros	374
6.22.	Resistencia transversal	381
6.22.1.	Método de Bruhn para el cálculo de la resistencia transversal	381
6.22.2.	Momento de inercia	382
6.22.3.	Medios baos	384
6.22.4.	Cálculo por el método de Cross	384
6.22.5.	Influencia de los mamparos transversales	385
6.22.6.	Esfuerzos dinámicos	386
6.22.7.	Esfuerzos en elementos transversales	388
6.23.	Resistencia a la torsión	390
6.23.1.	Generalidades	390
6.23.2.	Flotabilidad disimétrica	390
6.23.3.	Momento de estabilidad variable en diferentes puntos de la eslora	392
6.23.4.	Influencias dinámicas	393
6.23.5.	Esfuerzos en vigas huecas cerradas	395
6.23.6.	Esfuerzos en caso de que existan aberturas en cubierta	396
6.23.7.	Investigación experimental	397
6.23.8.	Esfuerzos en los elementos de estructura transversales	398

CAPITULO 7.º

7. CALCULO DE LA ESTRUCTURA DE UNA CUADERNA MAESTRA

7.0.	Características de la ola	401
7.1.	Elasticidad y estabilidad elástica	402
7.2.	Tipos de estructuras	402
7.3.	Esfuerzos en planchas	403
7.4.	Planchas sometidas a una carga de compresión y normal a su plano	403
7.4.1.	Planchas con su contorno apoyado	403
7.4.2.	Planchas con sus contornos empotrados	405
7.5.	Efecto de la curvatura de las planchas	407
7.6.	Planchas con un entramado de refuerzos	407
7.7.	Ancho efectivo de planchas	407
7.7.1.	Problema de estabilidad	408
7.7.1.1.	Plancha con su contorno apoyado	408
7.7.1.2.	Plancha con contornos empotrados	408
7.7.2.	Problema de elasticidad	409
7.7.3.	Resistencia de refuerzos	410
7.7.4.	Combinación de esfuerzos: interacción	412
7.8.	Discontinuidades: concentración de esfuerzos	412
7.8.1.	Concentración de esfuerzos	416
7.8.2.	Concentración de esfuerzos en escotillas	416
7.8.3.	Anillos de refuerzo de aberturas	422
7.9.	Cuadernas	423
7.9.1.	Método de Cross	424
7.9.2.	Método de Bruhn	424
7.9.3.	Suposiciones	424
7.10.	Coeficientes de seguridad	425
7.11.	Criterios utilizados en el proyecto	425
7.11.1.	Condiciones de carga	425